

# Estimasi Redaman Hujan untuk Aplikasi Teknik Diversity pada Gelombang Millimeter untuk Implementasi Wireless Broadband

Haniah Mahmudah dan Ari Wijayanti

**Abstrak**—Peningkatan layanan akses pita lebar berbasis nirkabel atau *Broadband Wireless Access* (BWA) yang menggunakan frekuensi diatas 10 GHz sehingga untuk implementasi sistem komunikasi BWA diperlukan adanya estimasi redaman hujan. Estimasi redaman hujan SST multilink dipengaruhi beberapa faktor yaitu intensitas hujan sebagai fungsi waktu, data cuaca berupa kecepatan dan arah angin serta letak suatu link digunakan untuk mengimplementasikan teknik diversity menggunakan teknik combining SC, EGC dan MRC dengan panjang link sama dan sudut antar link lebih dari  $90^0$  dan direkomendasikan dengan teknik *Selection Combining* (SC) mampu memberikan *diversity gain* sampai 8 dB untuk panjang link 1 km, *diversity gain* sampai 17 dB untuk panjang link 2 km dan *diversity gain* sampai 28 dB untuk panjang link 3 km. Untuk outage probability 0,01% perhitungan *diversity gain* menggunakan redaman hujan SST mendekati *diversity gain* menggunakan pembangkitan redaman hujan yang berkorelasi spatial berdasarkan data Surabaya model Morita-Higuti yang menunjukkan bahwa redaman hujan SST mampu mengestimasi *diversity gain* pada kondisi hujan yang deras.

**Kata Kunci**—redaman hujan, *diversity gain*, SC, EGC dan MRC

## 1 PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN teknologi layanan *broadband* yaitu *high speed internet*, *digital video*, *audio broadcasting*, *video conference* dan lain-lain dengan kapasitas tinggi dan bandwidth lebar dari suatu pemancar sentral ke pelanggan dengan menggunakan *Broadband Wireless Access* (BWA) atau *Local to Multipoint Distribution System* (LMDS) terus meningkat dengan cepat [1]. LMDS adalah sistem komunikasi *fixed wireless access*, *line of sight* (LOS) *point to multipoint* yang beroperasi pada frekuensi gelombang millimeter yaitu antara 20-40 GHz dan bandwidth yang tersedia sekitar 1 - 3 GHz. Sedangkan di Indonesia perkembangan jaringan akses wireless menggunakan jaringan akses wireless untuk layanan akses pita lebar berbasis nirkabel

atau *Broadband Wireless Access* (BWA) merupakan teknologi akses yang menawarkan akses data/internet berkecepatan tinggi dan berkemampuan menyediakan layanan kapan dan dimanapun (*anytime anywhere*) dengan menggunakan media nirkabel. Layanan BWA yang tersedia antara lain akses internet pita lebar, *VoIP/Teleponi*, Multimedia, layanan on demand. Untuk memenuhi kebutuhan layanan BWA di Indonesia mempunyai beberapa alokasi spektrum frekuensi salah satunya pita frekuensi 10,5 GHz [2].

Permasalahan pada sistem komunikasi yang menggunakan frekuensi diatas 10 GHz adalah mempunyai redaman yang cukup besar terutama redaman yang disebabkan oleh hujan sehingga bisa menurunkan performansi dari sistem komunikasi [3]. Untuk desain sistem komunikasi jaringan akses wireless untuk layanan akses pita lebar berbasis nirkabel atau *Broadband Wireless Access* (BWA) yang menggunakan gelombang millimeter sangat memerlukan informasi tentang statistik redaman hujan. Dalam hal ini sangat perlu memperhatikan parameter redaman hujan

- Haniah Mahmudah, Jurusan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS Keputih Sukolilo, Telp: 031-5947280.. E-mail: haniah@eepis-its.edu
- Ari Wijayanti, Jurusan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS Keputih Sukolilo, Telp: 031-5947280. E-mail: ariw@eepis-its.edu

untuk dalam perancangan link budget sehingga bisa diperoleh analisa performansi sistem komunikasi yang handal terhadap redaman hujan.

Banyak metode yang telah dikembangkan untuk memprediksi redaman hujan menggunakan data pengukuran intensitas hujan. Ada beberapa metode statistik yang digunakan untuk menghitung redaman hujan yaitu perhitungan dari data pengukuran langsung pada lintasan propagasi, mengestimasi redaman hujan dari pengukuran menggunakan raingauge, radar dan radiometer, model empiris yang menggunakan metode ekstrapolasi dan intrapoli dari data statistik frekuensi, konfigurasi lintasan dan data cuaca dan simulasi menggunakan *Synthetic Storm Technique* (SST). Untuk perhitungan redaman hujan menggunakan data pengukuran langsung hanya dapat digunakan untuk frekuensi tertentu dan hanya lintasan yang pendek. Pada pengukuran langsung menggunakan raingauge, radar dan radiometer redaman hujan yang dihasilkan hanya untuk link yang pendek. Untuk metode ekstrapolasi tidak ada model empiris yang cocok untuk statistik redaman yang menggunakan data cuaca karena waktu yang kompleks dan struktur dari hujan yang tergantung dari data statistik cuaca. Untuk perhitungan redaman hujan untuk link yang panjang maka diperlukan statistik untuk memprediksi redaman hujan yang mempertimbangkan sifat-sifat mikrofisik dan makrofisik menggunakan data dari pengukuran langsung curah hujan dan data cuaca dengan mempertimbangkan arah dan kecepatan angin menggunakan metode statistik *Synthetic Storm Technique* (SST) untuk memprediksi redaman hujan sepanjang link [4][5]. Kannelopolous and Kafetzis menunjukkan bahwa prediksi redaman hujan menggunakan SST untuk satu link komunikasi *terrestrial* di Athena [5]. Fontan, dkk menunjukkan hasil prediksi redaman hujan SST mempunyai hasil yang sama dengan pengukuran langsung untuk daerah *Wessling* [6]. Kannelopolous, dkk juga mensimulasikan statistik redaman *annual/seasonal and diurnal* pada frekuensi 12 GHz untuk komunikasi satelite [7].

Statistik redaman hujan dapat digunakan untuk mengkompensasi efek redaman hujan

menggunakan statistik *fade slope*, statistik *fade duration*, *frequency scaling factor* dan *site diversity gain* [7]. Salah satu statistik redaman hujan SST dengan memodelkan beberapa lintasan komunikasi, sehingga dapat digunakan untuk beberapa teknik mitigasi untuk mengatasi redaman hujan. Teknik mitigasi memanfaatkan pemodelan beberapa lintasan komunikasi salah satunya menggunakan teknik *diversity* yaitu *cell-site diversity* sehingga sistem komunikasi wireless untuk layanan akses pita lebar berbasis nirkabel pada gelombang milimeter dapat diaplikasikan [1][9].

Pada penelitian ini tentang statistik intensitas hujan, statistik redaman hujan kemudian analisa *diversity gain* untuk mengatasi efek redaman hujan dengan teknik *diversity* yaitu *cell-site diversity* menggunakan teknik *combining* yaitu metode *Selection Combining* (SC), *Equal Gain Combining* (EGC) dan *Maximal Ratio Combining* (MRC). Statistik curah hujan merupakan hasil pengukuran intensitas hujan pada dua lokasi pengukuran yang mempunyai jarak 2 km yang mewakili daerah makrocell. Selanjutnya data intensitas hujan digunakan untuk perhitungan statistik redaman hujan menggunakan *Synthetic Storm Technique* (SST) dengan memodelkan beberapa lintasan komunikasi (multilink) dengan asumsi bahwa lokasi *link reference* adalah Timur-Barat, dan letak link yang lain berada pada arah berlawanan jarum jam dengan beda sudut antar link  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$  and  $180^{\circ}$  terhadap *link reference*. Panjang link komunikasi adalah 1-3 km [9]. Hasil redaman hujan SST digunakan untuk pembangkitan redaman hujan menggunakan korelasi redaman hujan SST, rata-rata dan standar deviasi redaman hujan SST [10] sedangkan koefisien korelasi spatial berdasarkan data Surabaya dengan nilai SSE yang minimum [12]. Hasil perhitungan *diversity gain* menggunakan redaman hujan SST multilink dibandingkan dengan pembangkitan redaman hujan yang berkorelasi *spatial* dengan data Surabaya.

## 2 SYNTHETIC STORM TECHNIQUE (SST)

Perhitungan redaman hujan SST menggunakan kecepatan angin ( $v$ ) dan arah angin ( $\theta$ ). Kon-

figurasi link mempunyai panjang lintasan komunikasi lebih dari satu  $L_N$  adalah panjang lintasan komunikasi ke- $N$ . Lintasan komunikasi diasumsikan bahwa link referensi terletak di timur sehingga letak lintasan komunikasi yang lain berbeda sudut  $\psi$  dengan arah berlawanan dengan jarum jam dari arah Timur.

Kecepatan angin di link harus memperhatikan letak link komunikasi dan arah angin. Arah angin dengan sudut kedatangan ( $\theta$ ) dan kecepatan angin ( $v$ ) maka kecepatan angin di link dapat dihitung dengan persamaan:

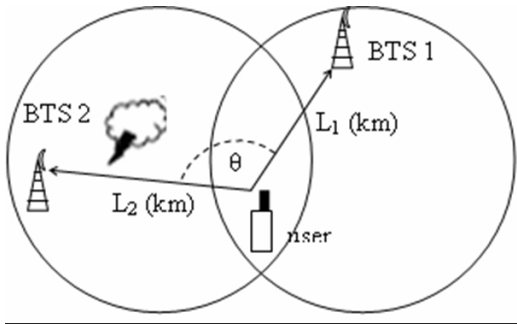
$$v_r = \left| \frac{v}{\cos(\psi - (90^\circ - \theta))} \right|$$

dengan  $v$  adalah kecepatan angin,  $\theta$  adalah arah kedatangan angin, dan  $\psi$  adalah sudut antar link.

Parameter-parameter pengukuran yaitu waktu sampling rain gauge, kecepatan dan arah angin digunakan untuk menghitung panjang segmen sepanjang lintasan [5] dengan  $\Delta L = v_r T$  adalah waktu sampling rain gauge. Redaman hujan SST pada setiap link dapat dihitung menggunakan persamaan [5].

$$A(n) = \sum_{m=0}^{N-1} a R_{n-m}^b \Delta L_m \quad (1)$$

dengan  $a$  dan  $b$  adalah konstanta yang diperoleh dari ITU-R.P.838 recommendation untuk frekuensi 30 GHz [13].



Gambar 1. Skenario teknik diversity

### 3 PENGUKURAN DAN ANALISA

#### 3.1 Sistem Pengukuran

Sistem pengukuran intensitas hujan menggunakan rain gauge di lokasi PENS-ITS Surabaya.

Sedangkan pengukuran kecepatan dan arah angin diperoleh dari BMG Juanda, Surabaya. Letak pengambilan data intensitas hujan di ITS dan pengambilan data cuaca berupa kecepatan dan arah angin di BMG Juanda memiliki jarak kurang dari 15 km [14], maka memiliki korelasi spasial pengukuran angin yang tinggi sehingga pada penelitian ini dapat menggunakan data pengukuran angin dari BMG Juanda. Data cuaca berupa kecepatan dan arah angin menggunakan kecepatan rata-rata angin tiap hari dan arah angin yang terbanyak dalam satu hari. Data intensitas hujan, kecepatan dan arah angin digunakan untuk menghitung redaman hujan SST multilink sepanjang lintasan dihitung tiap-tiap event hujan. Hasil perhitungan redaman hujan SST multilink [10] dan pembangkitan redaman hujan menggunakan korelasi spasial redaman hujan [12] digunakan untuk menghitung *diversity gain* dengan teknik *combining*.

Perhitungan *diversity gain* menggunakan teknik *combining* menggunakan skenario *diversity* seperti Gambar 1. Teknik *combining* adalah teknik yang sangat sederhana yaitu *Selection Combining* (SC). Jika daya yang diterima dari hub adalah  $P_n$  dengan  $n=1,2$ . Output SC adalah

$$P_{SC} = \max(P_1, P_2) \quad (2)$$

Teknik yang lain adalah *Equal-gain combining* (EGC) dan *Maximal-ratio Combining* (MRC). Daya output dari EGC

$$P_{EGC} = 10 \log_{10} \left( \left( \psi_1^{1/2} + \psi_2^{1/2} \right)^2 / 2 \right) \quad (3)$$

dan daya output MRC adalah:

$$P_{MRC} = 10 \log_{10}(\psi_1 + \psi_2) \quad (4)$$

dengan  $\psi_n = 10^{P_n/10}$  untuk  $n = 1, 2$  dalam skala linear. Perhitungan *diversity gain* pada *outage probability* adalah  $G(p) = A(p) - A_d(p)$  [3].

Untuk perhitungan *diversity gain* menggunakan teknik *combining* yaitu SC, EGC dan MRC ada beberapa asumsi dideskripsikan sebagai berikut: Pertama, semua link dipengaruhi hujan dengan redaman dalam dB dengan perhitungan redaman hujan SST multilink

[10] dan pembangkitan redaman hujan menggunakan korelasi spasial redaman hujan, rata-rata dan standar deviasi redaman hujan SST [12]. Kedua, sistem LMDS dengan kondisi link komunikasi *line of sight* (LOS) dan panjang dua link diasumsikan sama dengan panjang link masing-masing 1-3 km dan sudut antar dua link adalah  $45^0$ ,  $90^0$ ,  $135^0$  dan  $180^0$ .

Pembangkitan redaman hujan menggunakan korelasi *spatial Morita-Higuti* berdasarkan data Surabaya pada Tabel 1 kemudian dihitung korelasi redaman hujan menggunakan metode KK [12]. Dengan digunakan untuk pembangkitan redaman hujan yang berkorelasi spasial berdasarkan data Surabaya kemudian dihitung *diversity gain*. Hasil perhitungan *diversity gain* menggunakan pembangkitan redaman hujan yang berkorelasi spasial berdasarkan data Surabaya dibandingkan dengan *diversity gain* menggunakan redaman hujan SST multilink.

**Tabel 1**

Sum Square Error (SSE) dan koefisien korelasi spasial Morita-Higuti berdasarkan data Surabaya [12]

Kuartil	MH ( $\alpha$ )	SSE MH
3	0,1807	0,0081
4	0,0725	0,0052

### 3.2 Statistik Intensitas Hujan di Surabaya

Pengambilan data intensitas hujan di lokasi Surabaya dilakukan di PENS-ITS dan RS Haji dengan jarak 2 km yang mempunyai iklim tropis dengan curah hujan tinggi. Dua lokasi pengukuran ini mewakili daerah makrocell sehingga sangat penting untuk memperoleh informasi statistik curah hujan untuk implementasi sistem BWA. Pengukuran intensitas hujan dilakukan pada tahun 2008 menggunakan rain-gauge dengan tipe *tipping bucket* mempunyai sensitifitas 0,01 inchi tiap sample hujan dengan waktu sampling 1 menit. Hal ini sangat penting bahwa intensitas hujan yang berbasis sampling tiap menit dari pengamatan annual

untuk mengestimasi *margin fading* pada sistem telekomunikasi.

Hasil pengukuran curah hujan yang sudah terkonversi dalam (mm/h) digunakan untuk perhitungan redaman hujan SST kemudian dibuat distribusi kumulatif intensitas hujan. Distribusi kumulatif intensitas hujan ini dapat digunakan untuk pembangkitan redaman hujan menggunakan rekomendasi ITU-R P.530.10. Perhitungan redaman hujan SST dan pemngkitan redaman hujan digunakan untuk perhitungan *diversity gain* menggunakan teknik combining SC, EGC dan MRC.

### 3.3 Analisa

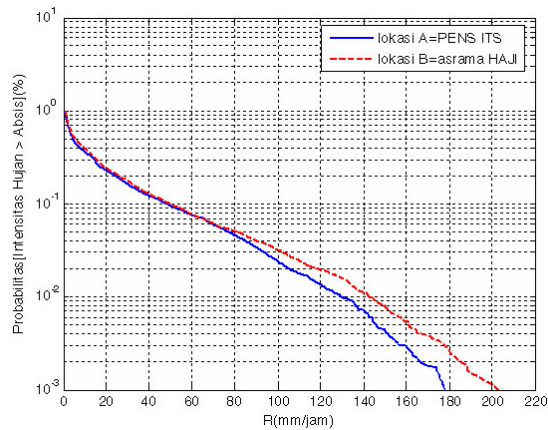
Pengukuran curah hujan di dua lokasi pengukuran diplot dalam grafik distribusi kumulatif seperti pada Gambar 2. Untuk nilai curah hujan rata-rata untuk dua lokasi mendekati nilai yang sama 15 mm/h dan mempunyai nilai curah hujan maksimum yang sama mendekati 213 mm/h untuk PENS dan 216 mm/h untuk RS Haji seperti pada Tabel 2. Sehingga untuk perhitungan redaman hujan SST multilink dapat menggunakan hasil pengukuran salah satu lokasi saja.

**Tabel 2**

Curah hujan rata-rata dan curah hujan maksimum [10]

Lokasi	Curah Hujan(mm/h)	
	Rata-Rata	Rmaks
PENS	15,09	213
RS HAJI	15,71	216

Redaman hujan SST multi link untuk letak link dengan perubahan sudut  $0^0$  sampai  $180^0$  berlawanan dengan arah jarum jam dibandingkan dengan ITU-R P.530-10. Gambar 3 untuk *outage probability* antara 0,1% sampai 0,01% menunjukkan bahwa redaman hujan SST mendekati redaman hujan ITU-R P.530-10. Pada *outage probability* kurang dari 0,01% redaman hujan SST mempunyai redaman hujan yang lebih besar dibandingkan dengan ITU-R P.530-10.



**Gambar 2.** Distribusi curah hujan pada dua lokasi pengukuran

Untuk redaman hujan SST di link timur laut pada sudut  $45^0$  dan di link barat laut pada sudut  $135^0$  mempunyai redaman hujan yang sama. Pada link timur pada sudut  $0^0$  dan di link barat pada sudut  $180^0$  mempunyai redaman hujan yang sama. Sedangkan pada link utara pada sudut  $90^0$  redaman hujan SST mempunyai redaman hujan yang paling besar dibandingkan pada link yang lain.

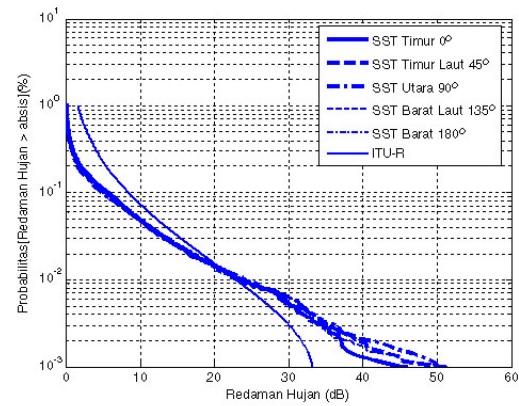
Tabel 3 menunjukkan panjang link 1-3 km untuk *outage probability* 0,01% SST mempunyai redaman yang terbesar pada lokasi link Utara atau link dengan beda antar sudut  $90^0$  terhadap *link reference*. Dengan semakin panjang link maka redaman hujan akan semakin besar.

**Tabel 3**

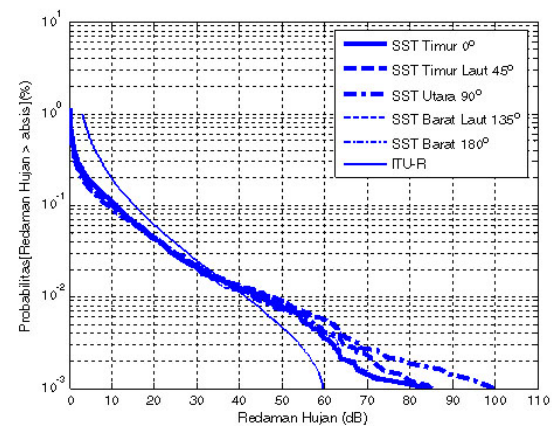
Redaman hujan pada *outage probability* 0,01 %

Lokasi	Redaman Hujan(dB)		
	1 km	2 km	3 km
Link $0^0$	23,00	45,57	61,65
Link $45^0$	23,10	43,58	61,85
Link $90^0$	24,25	47,32	66,70
Link $135^0$	23,60	44,30	62,05
Link $180^0$	23,47	45,56	61,67

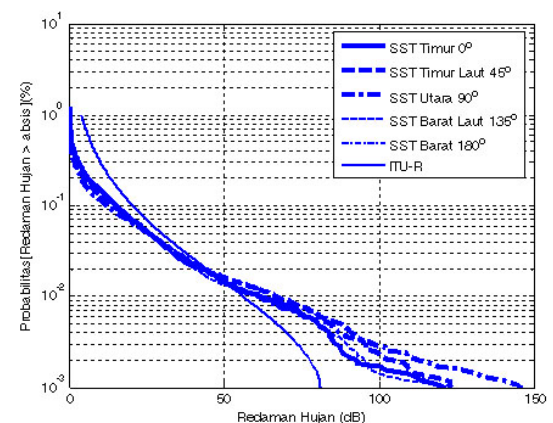
Dengan perhitungan yang sama dengan menggunakan estimasi redaman hujan SST dibandingkan dengan ITU-R P.530-10 untuk



**Gambar 3.** Redaman hujan SST multilink frekuensi 30 GHz, polarisasi horisontal, panjang link 1 km [9]



**Gambar 4.** Redaman hujan SST multilink frekuensi 30 GHz, polarisasi horisontal, panjang link 2 km [9]



**Gambar 5.** Redaman hujan SST multilink frekuensi 30 GHz, polarisasi horisontal, panjang link 3 km [9]

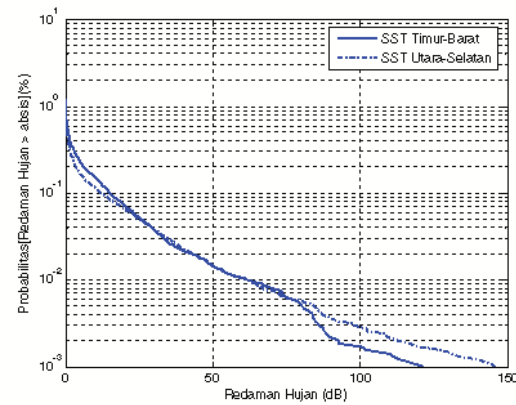


panjang link 2 km dan 3 km. Pada Gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa pada outage probability kurang dari 0,01% redaman hujan SST mempunyai redaman hujan yang besar dibandingkan dengan redaman hujan ITU-R P.530-10.

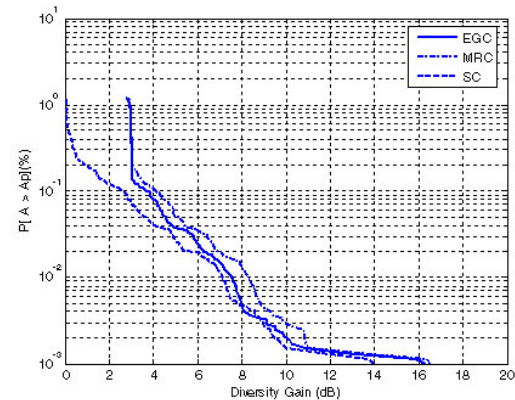
Dalam perhitungan redaman hujan SST harus memperhatikan arah kecepatan angin dan letak link. Pada perhitungan redaman hujan SST diasumsikan bahwa pada orientasi link timur-barat dan orientasi link yang lain utara-selatan dan arah kedatangan angin 69,06% dari timur dan barat maka *outage probability* kurang dari 0,01% untuk link berada di lokasi utara-selatan akan mempunyai redaman hujan paling besar dibandingkan link timur-barat karena intensitas hujan akan masuk sepanjang link secara bersamaan sehingga menghasilkan redaman hujan yang paling besar. Untuk *outage probability* lebih dari 0,01% maka lokasi link pada utara-selatan dan timur-barat mempunyai redaman hujan sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Hasil perhitungan redaman hujan SST multilink digunakan untuk perhitungan *diversity gain* seperti pada Gambar 7. Hasil perbandingan *diversity gain* sebagai fungsi sudut  $135^\circ$  dan  $180^\circ$  menghasilkan *diversity gain* yang mendekati sama maka akan dibandingkan *diversity gain* untuk panjang link 1 km dengan sudut antar link  $180^\circ$  dengan teknik combining SC, EGC dan MRC. Untuk probabilitas lebih dari 0,1% SC mempunyai *diversity gain* yang kecil yaitu kurang dari 2 dB sedangkan pada EGC dan MRC mempunyai *diversity gain* yang kecil yaitu sekitar 3 dB. *Outage probability* antara  $2.10^{-3}\%$  dan 0,1% MRC mempunyai *diversity gain* yang lebih besar dibandingkan dengan EGC. Dan SC mempunyai *diversity gain* paling kecil dibandingkan EGC dan MRC. Sedangkan untuk probabilitas antara  $2.10^{-3}\%$  dan 0,001% *diversity gain* EGC dan MRC mempunyai *diversity gain* yang lebih besar dibandingkan dengan SC seperti terlihat pada Gambar 7.

Untuk hasil perbandingan *diversity gain* untuk panjang link 2 km dan sudut antar link  $180^\circ$  dengan teknik combining SC, EGC dan MRC untuk *outage probability* lebih dari 0,1% SC mempunyai *diversity gain* yang kecil yaitu kurang dari 2 dB sedangkan pada *diversity gain*



**Gambar 6.** Redaman hujan pada link timur-barat dan utara-selatan pada link 3 km.



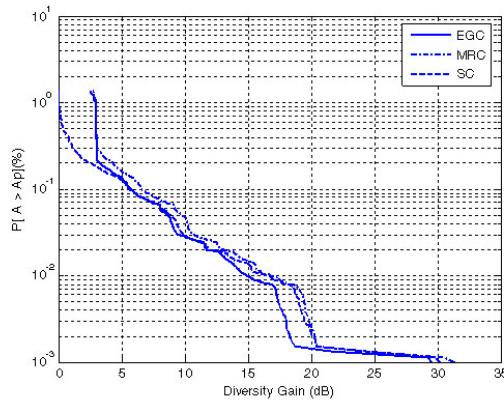
**Gambar 7.** Diversity gain link dengan sudut antar link  $45^\circ$ , frekuensi 30 GHz, polarisasi horisontal, panjang link 1 km

EGC dan MRC dengan nilai mendekati 3 dB. *Outage probability* antara  $2.10^{-2}\%$  sampai 0,1% teknik SC mempunyai *diversity gain* mendekati EGC tetapi *diversity gain* yang terbesar dihasilkan oleh MRC. Untuk EGC menghasilkan *diversity gain* paling kecil dibandingkan SC dan MRC seperti terlihat pada Gambar 8.

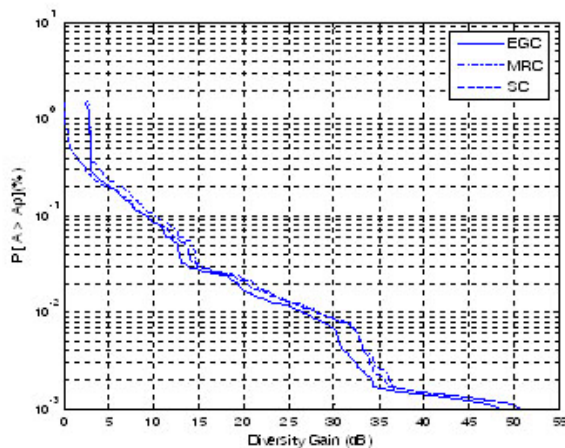
*Diversity gain* dengan panjang link 3 km dan sudut antar link  $180^\circ$  menggunakan teknik combining SC, EGC dan MRC. Untuk probabilitas lebih dari  $3.10^{-1}\%$  *diversity gain* EGC dan MRC mempunyai *diversity gain* yang kecil dengan nilai mendekati 3 dB sedangkan SC mempunyai *diversity gain* mendekati nilai sekitar 4 dB. Pada probabilitas kurang dari  $3.10^{-1}\%$  SC mempunyai *diversity gain* mendekati MRC yang mempunyai nilai *diversity gain* terbesar.

Sedangkan EGC menghasilkan *diversity gain* paling kecil dibandingkan SC dan MRC seperti terlihat pada Gambar 9.

*Diversity gain* menggunakan pembangkitan redaman hujan yang berkorelasi korelasi spasial Morita-Higuti pada kuartil tiga dengan nilai  $\alpha = 0,1855$  pada *outage probability* 0,01% dan sudut antar link  $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  dan  $180^\circ$  untuk panjang link 1 km dengan metode SC, EGC dan MRC mempunyai nilai *diversity gain* yang mendekati nilai *diversity gain* menggunakan perhitungan redaman hujan SST.



**Gambar 8.** Diversity gain link dengan sudut antar link  $45^\circ$ , frekuensi 30 GHz, polarisasi horisontal, panjang link 2 km

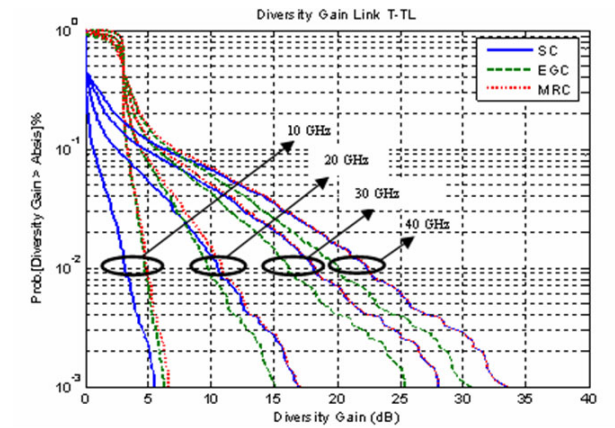


**Gambar 9.** Diversity gain link dengan sudut antar link  $45^\circ$ , frekuensi 30 GHz, polarisasi horisontal, panjang link 3 km

Sedangkan perhitungan *diversity gain* menggunakan pembangkitan redaman hujan yang

berkorelasi spasial Morita-Higuti pada kuartil empat dengan nilai  $\alpha = 0,0725$  mempunyai nilai *diversity gain* yang kecil dibandingkan dengan *diversity gain* menggunakan perhitungan redaman hujan SST. Sedangkan *diversity gain* menggunakan pembangkitan redaman hujan yang berkorelasi spasial Morita-Higuti pada kuartil empat dengan nilai  $\alpha = 0,0725$  mempunyai nilai *diversity gain* yang kecil dibandingkan dengan *diversity gain* menggunakan perhitungan redaman hujan SST.

Untuk panjang link 2 km dan 3 km dengan metode SC, EGC dan MRC pada *outage probability* 0,01% dan beda sudut antar link  $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  dan  $180^\circ$  *diversity gain* menggunakan pembangkitan redaman hujan yang berkorelasi spasial Morita-Higuti pada kuartil empat dengan nilai  $\alpha = 0,0725$  mempunyai nilai *diversity gain* yang mendekati nilai *diversity gain* menggunakan perhitungan redaman hujan SST. Sedangkan *diversity gain* menggunakan pembangkitan redaman hujan yang berkorelasi spasial Morita-Higuti dengan  $\alpha = 0,1855$  mempunyai nilai *diversity gain* yang lebih besar dibandingkan *diversity gain* menggunakan redaman hujan SST seperti ditunjukkan pada Tabel 4.



**Gambar 10.** Diversity gain link sebagai fungsi frekuensi 10, 20, 30 dan 40 GHz, polarisasi horisontal, panjang link 1 km.

Hal ini menunjukkan bahwa *diversity gain* menggunakan perhitungan redaman hujan SST dapat digunakan untuk mengestimasi *diversity gain* pada kondisi hujan yang sangat deras.

Perhitungan *diversity gain* dengan panjang lintasan yang sama dan polarisasi yang sama,

**Tabel 4**  
Redaman hujan pada *outage probability* 0,01 %

L1	L2	$\theta$	Pembangkit Redaman dengan MH $\alpha = 0,1855$			Pembangkit Redaman dengan MH $\alpha = 0,0725$			Perhitungan Redaman Hujan SST multilink		
			SC	EGC	MRC	SC	EGC	MRC	SC	EGC	MRC
1	1	45 <sup>0</sup>	4,61	4,59	5,50	2,86	3,62	4,10	2,32	3,94	4,15
		90 <sup>0</sup>	7,00	6,12	7,50	3,78	4,10	4,77	4,00	5,32	5,80
		135 <sup>0</sup>	6,50	6,00	7,28	4,36	4,48	5,35	6,73	7,28	8,00
		180 <sup>0</sup>	6,00	5,50	6,80	4,53	4,55	5,50	7,15	7,50	8,30
2	2	45 <sup>0</sup>	15,3	13,17	15,5	9,60	8,90	10,16	5,00	5,56	6,30
		90 <sup>0</sup>	21,78	19,77	22,00	13,00	11,00	13,10	1,00	10,70	11,80
		135 <sup>0</sup>	23,23	21,40	23,75	14,50	12,57	14,85	16,00	15,00	16,50
		180 <sup>0</sup>	24,37	22,30	24,85	14,96	12,80	15,19	16,70	15,00	17,00
3	3	45 <sup>0</sup>	25,41	22,23	24,60	14,95	13,32	14,98	8,50	8,30	9,34
		90 <sup>0</sup>	34,65	32,00	35,56	20,55	18,00	20,33	18,60	17,20	19,00
		135 <sup>0</sup>	39,20	36,50	39,00	23,77	20,80	23,50	26,00	24,00	26,80
		180 <sup>0</sup>	41,04	38,14	40,90	24,73	21,85	24,20	28,00	26,50	28,00

semakin besar frekuensi maka *diversity gain* akan semakin besar. Pada frekuensi 10 GHz pada *outage probability* 10-2 % *diversity gain* terbesar dengan teknik MRC dengan sudut antar link 90<sup>0</sup> sebesar 4,96 dB. Pada frekuensi 20 GHz pada *outage probability* 10<sup>-2</sup>% *diversity gain* terbesar dengan teknik MRC dengan sudut antar link 90<sup>0</sup> sebesar 11,12 dB. Begitu juga pada frekuensi 30 GHz dan 40 GHz, pada *outage probability* 10<sup>-2</sup>% *diversity gain* terbesar dengan teknik MRC dengan sudut antar link 90<sup>0</sup> berturut-turut sebesar 18,73 dB dan 22,81 dB seperti pada Gambar 10.

## 4 DISKUSI

Untuk implementasi jaringan akses wireless untuk layanan Akses Pita Lebar berbasis Nirkabel atau *Broadband Wireless Access* (BWA) yang menggunakan gelombang millimeter sangat memerlukan informasi tentang statistik intensitas hujan. Hasil pengukuran intensitas hujan pada dua lokasi pengukuran yang mem-

punyai jarak 2 km mewakili daerah makro-cell. Hasil pengukuran intensitas hujan menunjukkan bahwa daerah tersebut mempunyai rata-rata intensitas hujan 15 mm/h dan intensitas hujan maksimum yang sangat tinggi 216 mm/h. Hasil pengukuran intensitas hujan di kedua lokasi pengukuran menunjukkan nilai intensitas hujan yang relatif sama untuk daerah surabaya pada jarak 2 km mempunyai cell hujan yang besar. Sehingga untuk implementasi jaringan kases wireless BWA sangat diperlukan perhitungan redaman hujan sehingga dapat digunakan untuk desain *link budget*.

Untuk meningkatkan performansi sistem komunikasi gelombang millimeter mengatasi efek redaman hujan dapat menggunakan teknik mitigasi. Salah satu teknik mitigasi yang digunakan adalah *cell-site diversity*. Pada penggunaan teknik *cell-site diversity* dapat mengaplikasikan perhitungan estimasi SST multilink karena memperhatikan karakteristik intensitas hujan temporal, kecepatan dan arah angin,



mempunyai lebih dari satu lintasan dalam perhitungan redaman hujan sehingga *cell-site diversity* dapat diimplementasikan.

Dalam perhitungan *diversity gain* yang terbesar diperoleh dengan perhitungan *diversity gain* metode SC dengan hasil *diversity gain* mendekati *diversity gain* MRC dan *diversity gain* terkecil dihasilkan oleh *diversity gain* EGC. Sehingga untuk mengatasi efek redaman hujan pada sistem LMDS dapat diimplementasikan teknik *cell-site diversity* dengan menggunakan teknik SC karena mempunyai nilai *diversity gain* yang besar, lebih sederhana dibandingkan MRC sehingga implementasinya lebih mudah dan murah.

Pada *outage probability* 0,01% perhitungan *diversity gain* menggunakan pembangkitan redaman hujan yang berkorelasi spatial model Morita-Higuti berdasarkan data Surabaya dan rata-rata dan standar deviasi redaman hujan SST pada kuartil empat dengan nilai SSE terkecil mempunyai nilai *diversity gain* yang mendekati hasil *diversity gain* menggunakan redaman hujan SST sehingga *diversity gain* menggunakan redaman hujan SST dapat digunakan untuk mengestimasi redaman hujan yang deras.

## 5 KESIMPULAN

Estimasi SST multilink dapat diaplikasikan untuk teknik *cell-site diversity* karena mempunyai lebih dari satu lintasan dalam perhitungan redaman hujan dan memperhatikan karakteristik intensitas hujan temporal, kecepatan dan arah angin. Untuk mengatasi efek redaman hujan pada sistem LMDS dapat diimplementasikan teknik *cell-site diversity* dengan menggunakan teknik SC, EGC dan MRC dan mampu memberikan *diversity gain* sampai 8 dB untuk panjang link 1 km, *diversity gain* sampai 17 dB untuk panjang link 2 km dan *diversity gain* sampai 28 dB untuk panjang link 3 km. Sedangkan implementasinya teknik *diversity* menggunakan teknik SC karena mampu memberikan *diversity gain* yang besar dan mendekati teknik MRC. Untuk *diversity gain* menggunakan teknik *combining* pada *outage probability* 0,01% redaman hujan SST

mampu mengestimasi *diversity gain* pada kondisi hujan yang deras.

Untuk penelitian selanjutnya perlu adanya aplikasi teknik mitigasi yang lain seperti MIMO, modulasi adaptive, power control atau kombinasi lebih dari satu teknik mitigasi sehingga diperoleh performansi sistem komunikasi yang handal terhadap redaman hujan. Sedangkan untuk estimasi redaman hujan diperlukan lebih banyak data curah hujan sehingga estimasi redaman hujan lebih akurat.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Paper ini didanai oleh DP2M dalam rangka penelitian Hibah Bersaing tahun 2009.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Panagopoulos A. D. and Kanellopoulos J.D, "Cell-Site Diversity Performance of Millimeter-Wave Fixed Cellular Systems Operating at Frequencies Above 20 GHz ", IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters, Vol. 1, hal. 183-185, 2002.
- [2] Dirjen Postel, "Penataan spektrum frekuensi radio Layanan akses pita lebar berbasis Nirkabel (Broadband Wireless Access/BWA)", 2009.
- [3] Kanellopoulos J.D, Koukolas S.G, "Outage Performance Analysis of Route Diversity Systems of Cellular Structure, Radio science Vol.26, Number 4, hal.891-899, 1991.
- [4] Rogers R.R, "Statistical Rainstorm Models : Their Theoretical And Physical Foundations", IEEE Transactions on Antennas and Propagation , July, hal. 547-565, 1976.
- [5] Kanellopoulos J. D. dan Kafetzis P, "Comparison of the synthetic Storm Technique with a Conventional Rain Attenuation Prediction Model", IEEE Transaction on Antennas and Propagation , Vol AP-34 no. 5, hal 713-715, 1986.
- [6] F.P. Fontan, A. Nunez, A. Valcarce and U.C.Fiebig,"Converting Simulated Rain-rate Series into Attenuation Series Using the Synthetic Storm Technique", COST 280 PM9104 3rd International Workshop, June 2005.
- [7] Sotirios A. Kanellopoulos, Athanasios D. Panagopoulos, Emilio Matricciani and John D. Kanellopoulos,"Annual and Diurnal Slant Path Rain Attenuation Statistic in Athens Obtained with the Synthetic Storm Technique", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol 54 No. 8 August 2006.
- [8] B.C Gremont and M. Filip," Spatio-Temporal Rain Attenuation Model for Application to Fade Mitigation Techniques ", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol 52 No. 5 August 2004.
- [9] Hendranto G, Bultitude R.J.C dan Falconer D.D "Use of Cell-site Diversity in Millimeter-wave Fixed Cellular System to Combat the Effects of Rain Attenuation", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 20, No.3, hal. 602-614, 2002.
- [10] Mahmudah H, Wijayanti A, Hendranto G, Mauludiyanto A, Matshusima, "Analysis of Rain Attenuation Statistics in Surabaya using Synthetic Storm Technique for Tropical Millimeter-Wave Wireless Design", Wireless Optical Communication Network WOCN, 2008.

- [11] Haniah M, Ari W, "Korelasi Redaman Hujan Synthetic Storm Technique (SST) Untuk Design Wireless Broad-band", Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI), 2009.
- [12] ITU-R Rec. P.530-10, "Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Terrestrial Line of Sight Systems, " 2001.
- [13] Wijayanti A "Karakterisasi Variasi Spatial Curah Hujan dan Redaman Spesifik di Surabaya", Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI), 2009.
- [14] ITU-R Rec. P.838, "Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods", 1992.
- [15] Merceret, F.J. and J.G. Ward, "Spatial properties of wind differences in the lowest three kilometers of the atmosphere", Poster P10.8, Twelfth AMS Conference on Aviation and Range Meteorology, Atlanta, GA, 29 January - 2 February 2006.



bagai dosen tetap di Jurusan Telekomunikasi PENS-ITS, Kampus PENS ITS Sukolilo Surabaya.



*Electromagnetic Compatibility*(EMC)dan propagasi gelombang.

**Haniah Mahmudah** lahir di Tulungagung. Penulis lulus S1 pada tahun 2001 dari Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik Industri ITS. Lulus S2 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri ITS, bidang studi *Electromagnetic Compatibility* (EMC) dan propagasi gelombang pada tahun 2008. Saat ini, penulis menjabat Kepala Lab. Dasar Telekomunikasi PENS-ITS dan se-

**Ari Wijayanti** lahir di Surabaya, memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Elektronika ITS pada tahun 2001 dan magister pada jurusan Teknik Elektronika ITS, bidang studi Telekomunikasi Multimedia pada tahun 2008. Saat ini adalah pengajar pada jurusan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Bidang penelitian yang ditekuni adalah